

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-274759

(43) 公開日 平成10年(1998)10月13日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

G 0 2 F 1/035  
1/313

識別記号

F I

G 0 2 F 1/035  
1/313

審査請求 未請求 請求項の数27 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平10-47306

(22) 出願日 平成10年(1998)2月27日

(31) 優先権主張番号 M I 9 7 A 0 0 0 4 2 5

(32) 優先日 1997年2月27日

(33) 優先権主張国 イタリア (I T)

(71) 出願人 591011856

ピレリー・カビ・エ・システミ・ソチエ  
タ・ベル・アツィオーニ

Pirelli Cavi e Sist  
emi S. p. A

イタリア国 20126 ミラノ, ヴィアー  
レ・サルカ 222

(72) 発明者 アンドレア・カストルディ

イタリア共和国ミラノ, 20052 モンツァ,  
ヴィア・アンペレ 5

(74) 代理人 弁理士 社本 一夫 (外5名)

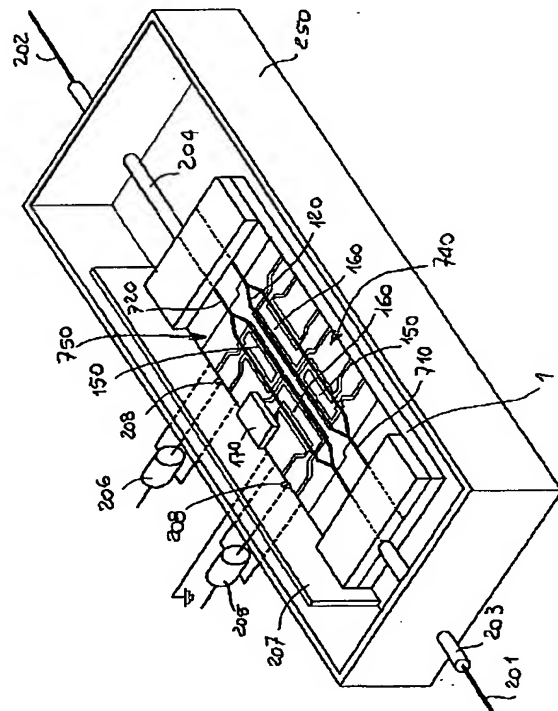
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 一体化光学素子の製造において不合格品を減少させる方法および光電素子

(57) 【要約】

【課題】 一体化光学素子の製造において不合格品を減少させる方法および不合格品が少ない光電素子を提供すること。

【解決手段】 デバイス上に光学的構造および電気的構造を備えた光電素子の製造方法は、基板上に少なくとも2つの光導波管構造を形成するステップと、各々、前記光導波管構造とそれぞれ連携する少なくとも1つの接地電極と1つの信号電極とを備えた電気的構造を、前記基板上の各光学的構造に形成するステップと、前述のステップにしたがって形成された前記光学的構造および前記電気的構造を一体的に接合することによって構成された前記光電構造の光学的特性を連続的に分析するステップと、前記光電構造の中から、分析時に、所定の限界と比較して改善された値を示す1つを選択するステップから成る。また、本発明は、独立した対称的な光電構造から成る光電素子にも関連する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光学的構造および電気的構造が基板上に形成された光電素子の製造方法であって、  
一前記基板の要素の上に、少なくとも 1 つのユニットを幾何学的に定義するステップであって、前記ユニットが単一の素子に対応する前記ステップと、  
前記ユニット上に、光導波管を有する少なくとも 2 つの光学的構造を形成するステップと、  
前記ユニット上の前記光学的構造の各々に電気的構造を形成し、動作的に互いに連携可能な光学的構造および電気的構造から成る光電構造体を設けるステップと、  
前記基板要素から前記ユニットを分離するステップと、  
前記ユニット内の前記光電構造体の各々の機能特性を分析するステップと、  
分析時に、前記機能特性の少なくとも 1 つの所定の限界と比較して、改善された値を示す、前記光電構造体の 1 つを選択するステップと、から成ることを特徴とする方法。

【請求項 2】 請求項 1 記載の光電素子製造方法において、前記基板素子上に、複数のユニットを規定すること  
を特徴とする光電素子製造方法。

【請求項 3】 請求項 1 記載の光電素子製造方法において、前記電気的構造の各々は、少なくとも 1 つの接地電極と、1 つの信号電極とを備えていることを特徴とする光電素子製造方法。

【請求項 4】 請求項 2 記載の光電素子製造方法において、同一ユニット上の前記電気的構造の 2 つは、共通接地電極を有することを特徴とする光電素子製造方法。

【請求項 5】 請求項 1 記載の光電素子製造方法において、前記基板は、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、 $\text{GaAs}$ 、 $\text{InP}$ 、 $\text{Si}$ 、 $\text{SiO}_2$  および光減衰率が低いポリマ材料から選択した材料で作られていることを特徴とする光電素子製造方法。

【請求項 6】 請求項 5 記載の光電素子製造方法において、前記基板は  $\text{LiNbO}_3$  で作られていることを特徴とする光電素子製造方法。

【請求項 7】 請求項 1 記載の光電素子製造方法において、前記光電構造体は、Mach-Zehnder 干渉計構造を備えていることを特徴とする光電素子製造方法。

【請求項 8】 請求項 1 記載の光電素子製造方法において、前記ユニット上に光導波管を有する少なくとも 2 つの光学的構造を形成する前記ステップは、光学的構造用マスクを用いたフォトリソグラフィによって、前記基板に少なくとも 2 つの光導波管を形成するステップを含むことを特徴とする光電素子製造方法。

【請求項 9】 請求項 8 記載の光電素子製造方法において、前記光導波管は、チタンの拡散によって形成されることを特徴とする光電素子製造方法。

【請求項 10】 請求項 8 記載の光電素子製造方法において、前記光導波管は、陽子交換によって形成されること

を特徴とする光電素子製造方法。

【請求項 11】 請求項 1 記載の光電素子製造方法において、前記ユニット上の前記光学的構造の各々に少なくとも 1 つの電気的構造を形成することを含む前記ステップは、電気的構造用マスクを用いたフォトリソグラフィによって、導電性金属層の堆積により、前記基板上に少なくとも 1 つの電極を形成するステップを含むことを特徴とする光電素子製造方法。

【請求項 12】 請求項 1 記載の光電素子製造方法において、前記電気的構造は、電気接点によって電気信号を供給するためにアクセス可能であり、前記ユニットの一方側に整合された端部を有し、前記光導波管は、光結合によって光信号を供給するためにアクセス可能な少なくとも 1 つの端部を有し、各光電構造体の前記アクセス可能な端部は、所定の相対位置にあることを特徴とする光電素子製造方法。

【請求項 13】 請求項 1 記載の光電素子製造方法において、各ユニット上に、該ユニットの表面に垂直な中央軸を中心として  $180^\circ$  の回転に対して対称性を有する、2 つの独立し対向する光電構造体を形成するステップを含み、前記光電構造体は、各々、前記デバイス的一方側に配置された前記電気的構造の端部を有し、複数の外部コネクタに接続可能としたことを特徴とする光電素子製造方法。

【請求項 14】 光電素子であって、  
基板と、  
前記基板上に、光信号の通過を可能とするように設計された、少なくとも 1 つの光導波管構造と、  
前記光導波管構造付近に配置され、これと動作的に連携し、外部電気信号を受け取るように設計された複数の電極を備えた少なくとも 1 つの電気的構造と、から成り、  
互いに動作的に連携する光学的構造と電気的構造とによって形成された、少なくとも 2 つの光電構造体を備えていることを特徴とする光電素子。

【請求項 15】 請求項 14 記載の光電素子において、前記電気的構造の各々は、少なくとも 1 つの接地電極と、1 つの信号電極とを備えていることを特徴とする光電素子。

【請求項 16】 請求項 15 記載の光電素子において、前記電気的構造の各々は、付加的に位相電極を備えていることを特徴とする光電素子。

【請求項 17】 請求項 14 記載の光電素子において、前記同一ユニット上の前記電気的構造の 2 つは、共通接地電極を有することを特徴とする光電素子。

【請求項 18】 請求項 14 記載の光電素子において、前記基板は結晶基板であることを特徴とする光電素子。

【請求項 19】 請求項 18 記載の光電素子において、前記結晶基板は、複屈折光電材料であることを特徴とする光電素子。

【請求項 20】 請求項 14 記載の光電素子において、前

記基板は、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、 $\text{GaAs}$ 、 $\text{InP}$ 、 $\text{Si}$ 、 $\text{SiO}_2$  および光減衰率が低いポリマ材料から選択した材料で作られていることを特徴とする光電素子。

【請求項 21】請求項 20 記載の光電素子において、前記基板は  $\text{LiNbO}_3$  で作られていることを特徴とする光電素子。

【請求項 22】請求項 14 記載の光電素子において、前記電気的構造は、電気接点によって電気信号を供給するためにアクセス可能であり、前記ユニットの一方側に整合された端部を有し、前記光導波管は、光結合によって光信号を供給するためにアクセス可能な少なくとも 1 つの端部を有し、各光電構造体の前記アクセス可能な端部は、所定の相対位置にあることを特徴とする光電素子。

【請求項 23】請求項 14 記載の光電素子において、前記ユニットの表面に垂直な中央軸を中心として  $180^\circ$  の回転に対して対称性を有する、2 つの独立し対向する光電構造体を備えており、前記光電構造体は、各々、前記素子の一方側に配置された前記電気的構造の端部を有し、複数の外部コネクタに接続可能としたことを特徴とする光電素子。

【請求項 24】請求項 14 記載の光電素子において、前記光電構造体は、Mach-Zehnder 干渉計構造を備えていることを特徴とする光電素子。

【請求項 25】請求項 14 記載の光電素子において、該光電素子は光電変調デバイスであり、前記信号電極は、バイアス電極と、前記変調器の駆動用無線周波数信号を受け取るように設計された駆動電極とを備えていることを特徴とする光電素子。

【請求項 26】請求項 14 記載の光電素子において、該光電素子は干渉光電変調デバイスであり、少なくとも 2 つの別個の光電構造体を備え、各々、動作的に接続された、少なくとも 1 つの光学的構造および少なくとも 1 つの電気的構造から成り、前記電気的構造は、少なくとも 1 つの信号電極と少なくとも 1 つの接地電極とを含み、前記電気的構造の各々は、前記デバイスの各側に、該側に対して所定の位置に配置された端部を有し、前記デバイスの所定の回転角を定義し、2 つの光電構造の前記端部が同じ所定位置に配置されるようにしたことを特徴とする光電素子。

【請求項 27】請求項 16 記載の光電素子において、該光電素子は干渉光電変調デバイスであり、互いに対向して位置し、前記デバイスの表面を通過する軸に対して対称な、前記光学的構造および前記電気的構造によって形成された対から成る、第 1 および第 2 Mach-Zehnder 構造を備え、前記軸を中心に  $180^\circ$  の回転に対して対称性を有する 2 つの独立した光電変調器を形成し、各変調器は、前記デバイスの一方側に配置された電気的構造の端部を有し、これらを各外部コネクタに接続可能とし、前記デバイスの第 1 または第 2 の  $180^\circ$  回転によって、

前記第 1 または前記第 2 変調器はそれぞれ前記コネクタと接続されることを特徴とする光電素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、基板上に形成された光電素子の製造方法、および、本方法によって作成される一体化光電素子、例えば、光ファイバを伝送チャネルとして用いる光通信システムにおいて、高速光信号伝送装置に用いられるような一体化光電素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】本発明の目的のために、「基板上に形成された光電素子」は、基板上に形成された少なくとも 1 つの光導波路および少なくとも 1 つの電極を備え、各電気入力に供給される電気コマンド信号の印加によって、各光入力に供給される光信号に対して、変調、濾波、整流(commutation)等を行うように設計された素子として理解するものとする。

【0003】概略的に、本発明の目的のために、光電素子は、例えば、複屈折物質における「光電的」として通常示される効果に基づく素子、および印加された電気信号が光信号にある作用をもたらす素子、例えば、発熱作用を発生させたり、光熱効果(thermo-optical effect)によって光信号に作用したり、あるいは基板内に表面弾性波を発生させる素子の双方を含むものとする。

【0004】好適実施例では、本発明は、特に、干渉光電変調デバイス(interferometric electro-optical modulator device)に関するものである。

【0005】近年の間に、光信号を通信手段として用いる光通信システムは急速に広まった。かかるシステムでは、特に、光変調器のような一体化された光デバイスが用いられている。

【0006】光変調器により光キャリアを用いたデータ伝送では、コヒーレント・レーザ光のビーム振幅を、データ信号によって変調し、こうして発生した変調光信号を、光ファイバ・システム、増幅器、リピータ、および付加的な信号伝送または処理素子を通じて、離れた受信機に向けて伝搬する。

【0007】光のビームは、例えば、Mach-Zehnder 型の変調器のような光電変調器を用い、例えば、 $10^7$  ないし  $10^{12}$  Hz のマイクロ波の周波数範囲の電気信号によって変調すると有利である。

【0008】Mach-Zehnder 干渉計に基づく光電変調器は、 $\text{LiNbO}_3$  または  $\text{LiTaO}_3$ 、あるいは  $\text{GaAs}$  または  $\text{InP}$  (半導体型) のような光電材料によって形成されたモノリシック基板を含み、ポリマ(光熱)材料、あるいはシリカ上シリカ(silica-on-silica)またはシリコン上シリカ(silica-on-silicon)型の材料も用いることができる。

【0009】前記基板上には、第 1 入力部分を有する光

導波管路が形成されており、これを、互いにはほぼ平行に延びる2つのブランチに分割し、出力部分において再度結合する。導波管を形成するには、当該導波管の領域における材料の屈折率を、基板の材料の屈折率よりも大きくする。

【0010】この屈折率の増大は、例えば、チタンまたはその他の遷移金属の拡散によって、あるいは基板内における陽子交換によって得ることができる。

【0011】基板上には、2つ以上の電極も形成され、これによって、前記導波管路の一部に電圧を印加することができる。

【0012】かかるデバイスにおいては、入来する光信号がブランチ間で分割される。理想的には、電極に印加される電圧がない場合、2つのブランチを伝搬する光信号は、導波管の光出力において位相が再結合され振幅が加算されるので、入来光信号と本質的に同様の出立光信号がデバイスの出力に現れる。

【0013】導波管路のブランチに所定の電気バイアスを印加すると、光電効果のために、2つのブランチの屈折率間に変動が発生し、対応する相違が、2つのブランチ自体の有効光路長(effective optical length)にも現れる。 $V_\pi$ として知られているバイアス電圧において、有効光路長はある量だけ変化し、ブランチから現出する光信号が互いに対して180度位相シフトされる。この状態において、信号は逆位相で結合し、実質的にゼロの出力信号が与えられる。

【0014】このように、例えば、ゼロおよび $V_\pi$ 間の電圧変調電気信号を印加することにより、対応する変調を、デバイスの入力に供給される連続光信号に施すことが可能となる。

【0015】先に示した形式の変調器は、例えば、IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. MTT-30, No.8 (1982年8月)第1121-1137頁に記載されている。同様の原理によれば、光熱変調器(thermo-optical modulator)も作成可能である。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】先に示した形式の光電デバイス、例えば、光電または光熱強度変調器をMach-Zehnder型光導波管を用いて製造するには、基板から開始し、必要な光学的構造および電気的構造の形成のための異なるマスキング・レベルを用いる連続処理工程が必要となる。

【0017】先に示したデバイスは、基板要素(ウェハ)から開始し、以下では「チップ」と呼ぶ、数個のユニットをその上に形成し、それらを互いに分離し、各々がデバイスを形成するように使用すると有利である。

【0018】本出願人は、一体化光学素子、特に、光電または熱光学変調デバイスの製造プロセスの間、例えば、光学特性の断続または容認できない程のばらつきのような光導波管の欠陥、および例えば、短絡回路のよう

な電極の欠陥の双方、更に処理ステップ等の間における基板の機械的変形およびその結果としての破壊によって発生する不合格品をある程度の数だけ考慮に入れる必要があることを観察した。

【0019】更に、上述のデバイスを実際に実現する場合には、デバイス自体の寸法による制約があり、かかる制約は、デバイスを形成するための基板要素(「ウェハ」と呼ぶ)のサイズ、および形成される素子の脆弱性次第によって決定される。

【0020】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、各デバイス上に複数の光学的構造および電気的構造を形成し、同一デバイス上に数個の独立したユニットを有するようにする。これらの中から、機能性チェックによって、製造プロセスの終了時に、変調器の形成のために用いる1つを選択する。

【0021】更に特定すれば、同一デバイス上に光導波管経路および対応する電極から成る数個のユニットを組み合わせた構成によって、高い生産歩留まりが得られ、生産の過程において中間チェック工程を必要としないことが観察されている。

【0022】第1の態様によれば、本発明は、光電素子の製造プロセスに関し、基板上に光学的構造および電気的構造を形成する。このプロセスは、一前記基板の要素の上に、少なくとも1つのユニットを幾何学的に定義するステップであって、前記ユニットが単一の素子に対応する前記ステップと、前記ユニット上に、光導波管を有する少なくとも2つの光学的構造を形成するステップと、前記ユニット上の前記光学的構造の各々に電気的構造を形成し、動作的に互いに連携可能な光学的構造および電気的構造から成る光電構造体を設けるステップと、前記基板要素から前記ユニットを分離するステップと、前記ユニット内の前記光電構造体の各々の機能特性を分析するステップと、分析時に、前記機能特性の少なくとも1つの所定の限界と比較して、改善された値を示す、前記光電構造体の1つを選択するステップと、から成る。

【0023】好ましくは、前記基板素子上に、複数のユニットを規定する。

【0024】好ましくは、前記電気的構造の各々は、少なくとも1つの接地電極と、1つの信号電極とを備えているものがある。

【0025】特定実施例には、同一ユニット上の前記電気的構造の2つが、共通接地電極を有するものがある。

【0026】好ましくは、前記基板は、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、 $\text{GaAs}$ 、 $\text{InP}$ 、 $\text{Si}$ 、 $\text{SiO}_2$ および光減衰率が低いポリマ材料から選択した材料で作られている。

【0027】更に好ましくは、前記基板は $\text{LiNbO}_3$ で作られている。

【0028】特定実施例には、前記光電構造体が、Mach-Zehnder干渉計構造を備えているものがある。

【0029】好適な形態では、前記ユニット上に光導波管を有する少なくとも2つの光学的構造を形成する前記ステップは、光学的構造用マスクを用いたフォトリソグラフィによって、前記基板に少なくとも2つの光導波管を形成するステップを含む。

【0030】好ましくは、前記光導波管は、チタンの拡散によって形成される。

【0031】一代替案によれば、前記光導波管は、陽子交換によって形成される。

【0032】本発明による方法の好適実施例では、前記ユニット上の前記光学的構造の各々に少なくとも1つの電氣的構造を形成することを含む前記ステップは、電氣的構造用マスクを用いたフォトリソグラフィによって、導電性金属層の堆積により、前記基板上に少なくとも1つの電極を形成するステップを含む。

【0033】好ましくは、前記電氣的構造は、電気接点によって電気信号を供給するためにアクセス可能であり、前記ユニットの一方側に整合された端部を有し、前記光導波管は、光結合によって光信号を供給するためにアクセス可能な少なくとも1つの端部を有し、各光電構造体の前記アクセス可能な端部は、所定の相対位置にある。

【0034】即ち、本発明による方法は、各ユニット上に、該ユニットの表面に垂直な中央軸を中心として180°の回転に対して対称性を有する、2つの独立し対向する光電構造体を形成するステップを含み、前記光電構造体は、各々、前記デバイスの一方側に配置された前記電氣的構造の端部を有し、複数の外部コネクタに接続可能としている。

【0035】他の態様によれば、本発明は光電素子に関し、この光電素子は、基板と、前記基板上に、光信号の通過を可能とするように設計された、少なくとも1つの光導波管構造と、前記光導波管構造付近に配置され、これと動作的に連携し、外部電気信号を受け取るように設計された複数の電極を備えた少なくとも1つの電氣的構造と、から成り、互いに動作的に連携する光学的構造と電氣的構造とによって形成された、少なくとも2つの光電構造体を備えていることを特徴とする。

【0036】好ましくは、前記電氣的構造の各々は、少なくとも1つの接地電極と、1つの信号電極とを備えている。

【0037】好ましくは、前記同一ユニット上の前記電氣的構造の2つは、共通接地電極を有する。

【0038】好ましくは、前記基板は、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、 $\text{GaAs}$ 、 $\text{InP}$ 、 $\text{Si}$ 、 $\text{SiO}_2$ および光減衰率が低いポリマ材料から選択した材料で作られている。

【0039】好ましくは、前記電氣的構造は、電気接点

によって電気信号を供給するためにアクセス可能であり、前記ユニットの一方側に整合された端部を有し、前記光導波管は、光結合によって光信号を供給するためにアクセス可能な少なくとも1つの端部を有し、各光電構造体の前記アクセス可能な端部は、所定の相対位置にある。

【0040】好適実施例では、前記ユニットの表面に垂直な中央軸を中心として180°の回転に対して対称性を有する、2つの独立し対向する光電構造体を備えており、前記光電構造体は、各々、前記素子の一方側に配置された前記電氣的構造の端部を有し、複数の外部コネクタに接続可能としている。

【0041】一特定実施例では、本発明は、光電変調器を備えた光電素子に関し、前記信号電極は、前記変調器の動作点制御用信号を受け取るバイアス電極と、前記変調器の駆動用無線周波数信号を受け取るように設計された駆動電極とを備えている。

【0042】即ち、前記光電素子は干渉光電変調デバイスであり、少なくとも2つの別個の光電構造体を備え、各々、動作的に接続された、少なくとも1つの光学的構造および少なくとも1つの電氣的構造から成り、前記電氣的構造は、少なくとも1つの信号電極と少なくとも1つの接地電極とを含み、前記電氣的構造の各々は、前記デバイスの各側に、該側に対して所定の位置に配置された端部を有し、前記デバイスの所定の回転角を定義し、2つの光電構造の前記端部が同じ所定位置に配置されるようにした。

【0043】更に特定すれば、前記光電素子は干渉光電変調デバイスであり、互いに対向して位置し、前記デバイスの表面を通過する軸に対して対称な、前記光学的構造および前記電氣的構造によって形成された対から成る、第1および第2Mach-Zehnder構造を備え、前記軸を中心に180°の回転に対して対称性を有する2つの独立した光電変調器を形成し、各変調器は、前記デバイスの一方側に配置された電氣的構造の端部を有し、これらを各外部コネクタに接続可能とし、前記デバイスの第1または第2の180°回転によって、前記第1または前記第2変調器はそれぞれ前記コネクタと接続される。

【0044】更なる詳細は、添付図面を参照する、以下の記載から明らかとなろう。

【0045】

【発明の実施の形態】図1に示すように、Mach-Zehnder光電干渉変調デバイスは、以下の構成要素から成る。

【0046】一例えば、ニオブ酸リチウムで作られた結晶基板の部分1であって、この部分は、単一の素子に対応し、基板要素を切断することによって得られるユニットを構成し、以下では「チップ」と呼ぶ。

【0047】一第1光導波管部101を含み、互いに並んで位置する2本のブランチ110、120に分割され、第2光導波管部102において再び結合する光学的

構造100であって、光学的構造100は、その屈折率を変化させるのに適した物質を結晶基板1上に拡散することによって得ると有利であり、光信号が通過できるように設計されている。

【0048】—光学的構造の2本のブランチ110、120間に配置され、分極またはバイアス電極150および信号（または無線周波数）電極160から成る電極構造。

【0049】—光学的構造の2本のブランチ110、120の外側に配置された1対の接地電極130、140であって、信号電極160が抵抗端子170によって接地電極130、140に接続されている。

【0050】好適実施例では、結晶基板は、例えば、フォトリソグラフィ技術によって規定されるチタン薄膜の熱拡散を含む技術を用いて、低損失で基板上に単分子性導波管の形成を可能にするニオブ酸リチウム(LiNbO<sub>3</sub>)で作られている。

【0051】光導波管部101は、互いに並んで位置するブランチ110、120に接続された2つの分散ブランチ(diverging branch)103a、103bから成る、Y字状接合部103に接続されている。

【0052】互いに並んで配置されたブランチ110、120の端部には、2つの収束ブランチ(converging branch)104a、104bから成る、第2のY字状接合部104があり、収束ブランチ104a、104bは結合し、出力導波管102に接続されている。

【0053】好ましくは、上述の部分101、102、103、104を形成する導波管は、単分子型(monomodal type)のものである。

【0054】信号電極160、バイアス電極150および接地電極130、140は、光電効果によって導波管110、120の屈折率を変更するように設計された各電界を生成するように、互いに並んで位置するブランチの導波管に対して配置されている。上述の構成は、同じ電位の電界が、光学的構造の導波管ブランチ110、120双方に沿って印加されるようにするものである。

【0055】各電気信号が電極に印加されるときに生成される光電効果は、電界を受ける基板の材料の屈折率の変化をもたらす。

【0056】例えば、上述のニオブ酸リチウムのような、反転の中心(center of inversion)のない結晶は、この目的には有利である。

【0057】他の適切な物質は、例えば、LiTaO<sub>3</sub>またはGaAsまたはInP(半導体型)であり、ポリマ(熱光学)材料、あるいは分極が必要であればシリカ上シリカまたはシリコン上シリカ型の材料も用いることができる。

【0058】最大の光電係数を利用するために、印加さ

れる電界の力線は、結晶の光学軸zに平行とすべきである。結晶がこの同じ光学軸に沿って切断された場合

(「z-切断」素子)、信号電極160は、それが相互作用する導波管の上面に配置されると有利である。光学軸xに沿って切断された素子(「x切断」)では、光学的構造との光電相互作用を最大に高めるために、信号電極は、それらが相互作用する光導波管に対して、横方向に配置すると有利である。

【0059】変調器の製造のためには、光学軸xに沿った切断が好ましい。何故なら、z-切断結晶は、顕著なパイロ電気(pyroelectricity)および熱ドリフト現象を呈するからである。

【0060】図に示す例では、結晶基板100はx-切断型のものである。

【0061】Mach-Zehnder変調デバイスは、電界の印加によって、導波管路の2部分の屈折率を変化させ、結晶内の導波管路の前記部分を伝搬する光信号の2部分間に位相シフトを発生させる。次いで、この位相シフトが、干渉即ちエバネッセント波結合(evanescent wave coupling)によって、信号の振幅変化に変換される。

【0062】注入され、最初の導波管部101を伝搬する光信号は、第1Y分岐点103において等しい2部分に分割される。次に、導波管110、120内を伝搬する2つの部分信号は、中央領域において、等しく逆の位相変調を受け、第2Y分岐点104において干渉し、同相成分による第1対称モード、および逆相成分による第2非対称モードで再び結合する。次いで、非対称モードは、導波管の幅がせばまり基本モードのみの伝搬を許すようになったときに、基板に放射される。

【0063】好適実施例では、無線周波数電極160は、光学的構造の2本のブランチ110、120間に位置し、接地電極130、140はこれら2本のブランチの外側に位置するので、2本の導波管上には等しくかつ逆の(プッシュアップ)光電効果が発生し、必要な駆動電圧が半減する。

【0064】Mach-Zehnder変調器の動作の理論的な基礎は、例えば、先に述べた、R. C. Alfiness著、"Waveguide Electrooptic Modulators" (IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. MTT-30, No. 8, 1982年8月, 第1121頁に記載されている。

【0065】好適実施例では、変調信号電極160に加えて、追加のバイアス電極150が変調器上に配され、形成の間、または動作の間の、例えば、機械的または熱的変形のような外部からの影響によって発生する、干渉計の2本のブランチ110、120間の光学路のあらゆる相違を補償する機能を有する。電子フィードバック回路が、この電極の電圧を調整し、あらゆる時間的または熱的ドリフトを補償し、使用要件に応じて、Mach-Zehnderデバイスの動作状態を全体的に制御する。この種の変調器の例は、米国特許第5,359,449号に記載さ



れている。

【0066】図2にその全体を示す、完成した変調器は、ピッグ・テール処理(pig-tailing operation)によって加えられた接続ファイバ201、202と、内側に素子のチップを収容し保護する、支持構造とを更に含む。

【0067】前記ピッグ・テール処理では、各ファイバ支持ブロック203、204の取り付けを行い、その内側に接続ファイバ201、202を収容する。

【0068】上述の素子を相互接続するための光ファイバは、単分子8/125型ファイバであり、ここで、8はコアの直径を表し、125はファイバのクラディングの直径を表し、単位は $\mu\text{m}$ である。

【0069】好ましくは、入力201に用いるファイバは、バイアス保持型(bias-maintaining type)のもので、信号の光バイアス状態を保持する。この目的のためには、楕円形コアまたは同等の光学特性を備えることが有利な場合があり、例えば、FUJIKURAによって市販されている型番PANDA 8/125を用いるとよい。

【0070】通常ではバイアス維持を必要としない、出力ファイバは、例えば、FOS Fibre Ottiche Sud S.p.A.によって生産されている型番SMF-FOS 8/125とすればよい。

【0071】次に、金属支持部(図示せず)から成るハウジングに、デバイスを取り付ける。金属支持部は、その一部をなす接地面207および電気接続部を有するものが有利である。電気接続部は、導電性接着剤またははんだを用いて、抵抗端子170によって成端する無線周波数信号電極160および信号コネクタ205、バイアス電極150およびバイアス・コネクタ206、ならびに接地電極130、140および接地面207を共にはんだ付けすることによって形成する。

【0072】デバイスの両縁間の長手方向距離および電極の端子は、意図する機器における、デバイスのハウジングの特性を厳格に決定するものであり、都合よく所定のパラメータを満たさなければならない。

【0073】例えば、接地面207は、端子150、160に対向する孔208を有し、デバイスの側210において、接地面207と接触するようにコネクタ205、206を固定可能とする。

【0074】ピッグ・テール・プロセスの間、電気端子の位置は、ファイバを固定するために用いられるシステムに制限を加える。何故なら、このプロセスの間、変調器にバイアス電圧を印加し、その光学的整合をチェックすると有利であるからである(形成される構造の理想的でない部分(feature)を補償する)。

【0075】図3は、ウエハとも呼ばれる、結晶基板要素300を示し、この中に約40個のユニット1が形成され(そこからチップが得られる)、各ユニット1は上述のデバイスに対応する。

【0076】これらのチップは、典型的に、長さ「I」

が約40mmおよび幅「w」が2mmであり、直径「d」約3インチ(76.2mm)および厚さ0.04インチ(約1mm)(商業的に入手可能なサイズ)のウエハ内に形成される。

【0077】例えば、「光学等級」型の、直径約76.2mmおよび厚さ1mmのニオブ酸リチウムで作られた結晶基板が、Crystal Technologiesという会社またはその他の会社から販売されている。

【0078】チップのサイズ、したがって、1枚のウエハから作ることが可能なデバイスの最大総数には、とりわけ、破壊の原因となる、材料の脆弱性による限界がある。これによって、チップの幅は、先に示したものよりも大幅に狭められる場合がある。

【0079】デバイスの長さ、したがって、それが形成されるチップの長さは、更に、効果的な光電相互作用の形成に依存する。典型的に、先に示した例に相応しい相互作用の有効長は、数ミリメートル程度であり、好ましくは、少なくとも10ミリメートル程度である。

【0080】したがって、デバイスの形成では、使用可能なウエハを最も効率的に使用するためには、要求されるチップの最短長および最少横方向寸法を規定し、これに基づいて、ウエハの表面上において可能な最大数のユニットを設計する。

【0081】この設計は、個々のチップの切断に伴う処理において失われる材料の量も考慮に入れなければならない。

【0082】図4は、ウエハ300におけるユニットの別の配列を示す。このウエハ300からチップが得られ、2mmの同一幅「w」および50mmの同一長さ「I」を有する約25個のユニットを含む。これは、光電相互作用が長い方が有利な場合、または同じデバイスにおいていくつかの機能を統合して形成することが望ましい場合に必要とされる。

【0083】上述のデバイスを結晶基板のウエハから形成する技法について、光学的部分については図5ないし図8、電気的部分については図9ないし図12を参照しながら説明する。

【0084】図5に概略的に示すように、結晶基板のウエハ300は、感光性材料410の層によって覆われている。この感光性材料410のことを以下では「フォトレジスト」と呼ぶ。これは、図5に示すように、紫外線光に感応し、その上にマスク400が整合される。

【0085】マスク400は、例えば、クオーツで作られ、例えば、以下の工程から成るフォトリソグラフィ・プロセスによって形成される。

【0086】—予めクロムで覆われているクオーツ・シート上に感応性材料(「フォトレジスト」)の層を堆積する。

【0087】—計画した構造の設計を規定する電子ビームによって、感応性材料層(「フォトレジスト」)に選

択的に刻印(impress)する。

【0088】一刻印を行わなかった領域から、感光層を除去する。

【0089】一露出されたままとなっているクロム層に化学的エッチングを行う。

【0090】一残留する感光性材料を除去する。

【0091】こうして形成されたマスク400には、ウエハから得ようとするチップ全ての光導波管構造を規定するための設計が施され、結晶基板300のウエハ上に重ね合わせ、これと整合する。

【0092】図に示す簡略化した形態では、このマスクは、UV光線に対して透過性のある複数の第1領域401と、UV光線に対して透過性のない複数の第2領域402とを有する。

【0093】このマスクは、更に、以下に述べる電氣的構造の規定のためのマスクを後に対応させて整合するための、基準マーク610を結晶基板上に刻印することを可能にする、適切な基準点も有する。基準マーク610は、図13および図16に示されている。

【0094】マスクを用いて導波管を規定するために用いられるプロセスは、フォトリソグラフィ系のプロセスである。

【0095】フォトレジストを塗布(line)され、マスクで覆われた結晶基板300のウエハは、紫外線光線への露出を受ける。

【0096】次に、刻印されないフォトレジスト410の領域は、形成しようとする導波管路に対応する位置のフォトレジストに開口を形成することによって、化学的に除去される。

【0097】図6に示すように、次に、スパッタリングによって、表面全体にわたるチタン層430の堆積を行い、残っているフォトレジストを、その上に堆積されているチタンと共に取り去り(リフト・オフ)、所望の位置のみにチタン430を残す(図7)。

【0098】最後に、図8に示すように、結晶基板300を、温度が約1030℃のオープンに9時間放置し、基板内にチタンが拡散することによって導波管440が形成され、局所的に結晶基板300自体の屈折率を変化させる。

【0099】例えば、希土類を含有する、ドーブされた導波管が必要な場合、プロセスの第1工程として、結晶基板全体に、希土類(例えば、エルビウム)の層を堆積し、続いてオープンにおける拡散(例えば、1100℃で100時間)を行えばよい。

【0100】あるいは、光学的構造の規定は、例えば、図には示さないが、陽子交換プロセスを用いても得ることができる。

【0101】このプロセスは、以下の工程から成る。

【0102】一結晶基板をフォトレジストで覆う工程。

【0103】一紫外線光線に対して透過性のある部分お

よび透過性のない部分を有する構成を有するマスクを、結晶基板上に整合させる工程。

【0104】一結晶基板を紫外線光線に露出させる工程。

【0105】一紫外線光線に露出させたフォトレジストを化学的に除去する工程。

【0106】一結晶基板を安息香酸溶液に浸漬する工程。

【0107】一残留するフォトレジストを化学的に除去する工程。

【0108】次に、電氣的構造の形成のために実施するプロセスの一例について、図9ないし図12を参照しながら説明する。

【0109】上述のプロセスと同様のプロセスを用いて、マスク500を形成する。このマスクは、UV光線に対して透過性のある複数の第1領域501、およびUV光線に対して透過性のない複数の第2領域502を有し、所望の幾何学的形状の電極を規定するように設計されている。

【0110】チタンの薄層510および金の層520を、光導波管が既に形成されている(図には1つのみを示す)結晶基板300上に堆積する。次に、感光性材料層410を堆積する。

【0111】任意に、結晶基板の表面全体のチタン層および金属の直下に、一酸化シリコンの絶縁層を堆積し、金属による吸収に起因する過度の光損失を回避する。

【0112】マスク500は、既に述べた基準点610によって、結晶基板300の上面上に、光学的構造に対向して、非常に正確に( $\pm 0.25 \mu m$ )で整合する。

次に、図9に示すように、マスクを介したUV光線にこの構造体全体を露出させる。

【0113】続いて、先に説明したように、そして図10に示すように、露出されない感光性材料410を化学的に除去し、電極に対応する領域のみを露出された状態で残す。

【0114】次に、図11に示すように、金槽において電極の電解成長を行い、所望の厚さに達するまで、フォトレジストを除去した領域に、金の層530を堆積する。

【0115】最後に、化学的エッチングによって、残留するフォトレジスト、ならびに、初期のチタン薄層および電解成長しなかった金層を除去し、図12に概略的に示す最終構造を得る。

【0116】上述の処理に続いて、光学的構造および電氣的構造を有する結晶基板300を、個々のユニットに対応する点に沿って切断し、チップ1を形成する。

【0117】切断の際には、例えば、ダイヤモンドをコーティングしたブレードを有し、数値制御機械によって駆動される回転ソー(circular saw)を用い、切断面および光導波管の方向の間に平行な整合を保証するように切



断を行う。切断の前に、フォトリソ層で結晶基板を保護し、表面への損傷を回避するようにすると有利である。

【0118】こうして得られたチップの端部に、ラップ仕上げプロセスを施し、完全に平坦な面を得ると共に、所望の光学的最終品質を有するようにする。

【0119】この工程の間、低融点ワックスを用いて、完全な光学的構造および電気的構造を有するチップと全く未処理のニオブ酸リチウム素材を交互にして、数個のチップと一緒に纏めて集合体とする。この集合体を支持台上に装着する。この支持台は、平滑化する表面と、粒状接着剤を含む溶液が液体粒子の形態で塗布される回転面間に、適当な圧力を加えることができる。平均直径が  $3\mu\text{m}$  および  $0.1\mu\text{m}$  の粒体をそれぞれ用いた、後続の平滑化処理の結果として、完全に平坦な表面を得ることができ、これによって該表面の品質を、干渉測定(interferometric measurement)により、顕微鏡の下でチェックすることができる。

【0120】上述の処理工程は全て、完全にクリーンな環境を必要とし、ダスト・レベルを制御した「無菌室」において行うことが好ましい。

【0121】ピッグ・テール処理を行うために、中に接続ファイバ 201, 202 を收容する、2つのファイバ支持ブロック 203, 204 を、チップの光学的構造 100 の端部導波管 101, 102 付近に配置する。次に、光学的整合チェックを行い、送信光学出力を最大に高めると共に、挿入損失の低減を図る。例えば、アナログ変調器の場合、典型的な損失は 3.5 dB 程度である。最適な整合をチェックした後、透明接着剤によって、予め選択してある位置に、ファイバ支持ブロック 203, 204 および光ファイバ 201, 202 を固定する。

【0122】次に、光接続ファイバを設けたデバイスを金属支持台上に固定し、例えば、導電性接着剤によって接地電極を接地面 207 に接続し、デバイスの電極の各端子に電気コネクタをはんだ付けし、無線周波数電極 160 を、抵抗端子 170 によって、接地電極に接続する。最後に、図示しない、保護ケーシング内に構造体全体を收容する。

【0123】次に、上述のプロセスにしたがって生産されたデバイスに対し、検査および分析処置が行われる。

【0124】光学的構造の品質を確認するために、デバイスの端部において対向する 2本の光ファイバおよび光出力測定装置を通過する際の伝送損失を測定する。アナログ変調器に典型的な損失は、約 3.5 dB である。

【0125】電極の品質を確認するために、電気マルチメータ(electric multimeter)を用いて抵抗を測定し、例えば、 $\pm 0.5$  オーム程度の所定の許容度範囲以内で、測定値が所定値と一致することをチェックする。

【0126】光電変調器の性能特性を評価するために、

通常以下のパラメータを測定する。

【0127】-単位時間当たりの基本情報要素(ビット)の伝送数を高めるために、できるだけ広い振幅を有する変調帯域。

【0128】-dB で測定する挿入損失。これは、デバイス全体(ファイバーファイバ)における光信号の減衰を表す。これは、過度のノイズを混入させ得る、後からの増幅の必要性を回避するために、含ませなければならない。

【0129】-オン/オフ電圧。強め合う干渉状態(constructive interference condition)から弱め合う干渉状態(destructive interference condition)まで移行するのに必要な電圧を与える。

【0130】-変調振幅における不規則性測定のための帯域リップル。

【0131】これまでに説明しかつ図示してきた形式のデバイスは、本出願人によって、以下の方法で製造されている。

【0132】デバイスの製造の間、光学的接続および電気的接続について所定の位置を観察することにより、正しい收容およびデバイスと外部機器とのインターフェースを可能にする、電極の配列に関する状態を観測した。

【0133】例 1

上述のプロセスを用いて、図 13 に示すように、各々、(図では) 100a, 100b, 100c で示す数個の(具体的には 3つの)光学的構造を有する数個のユニットを、基板のウエハ上に形成した。対応する整合基準点 610a, 610b, 610c を、これら光学的構造に対向して形成する。

【0134】次に、ウエハ上にあるユニットの光学的構造を、顕微鏡の下で検査し、それらの中から、欠陥のない光学的構造を選択する。次に、3つの参照点 610 の 1つに対応する、共通整合位置を予め選択しておく。検討対象のユニット全て(即ち、ウエハ全体)には、最少数の欠陥があるものとする。

【0135】この位置に、電気的構造の形成のためのマスク 630 の配置を決定する(その単一のユニットに対する設計を、図 14 に示す)。この目的のために、マスク 630 は、光学的構造の基準点 610 の 1つと整合して配置されるように設計された位置決め要素(locating element) 620 を有する。

【0136】このように、完成したユニットは、図 15 に概略的に示すように、基板ウエハ上に形成され、これからチップを得て、個々のデバイスを形成する。

【0137】例 2

上述の形式の変調デバイスは、以下の方法で生産した。

【0138】上述のプロセスを用いて、基板のウエハ上に数個のユニットを形成した。その 1つを図 16 に示す。各々には、1対の光学的構造 710, 720 が備え

られており、各光学的構造は、2本の平行なまたは実質的に平行なブランチ110、120、および整合基準点610を備えている。

【0139】光学的構造710、720は、光学的構造自体の間の中間位置を通過する、ユニットの表面に垂直な軸を中心とする180°の回転に対して対称となっている。

【0140】次に、種々のユニットの電氣的構造を形成するためのマスクを、こうして作成した光学的構造上に直接配置する。マスクの形状を、単一のユニットのみに

ついて、図17に示し、参照番号730を付してある。  
【0141】このマスクは、光学的構造と同じ対称軸を中心とする180°の回転に対して対称の1対の電氣的構造740、750、および基準点610と一致するように設計された整合位置決め要素620を形成するように設計された構成を有する。各電氣的構造は、接地電極130、信号電極160、およびバイアス電極150を備えている。

【0142】図18に示すように、このマスクによって、電氣的構造は、個々のユニット上にある光学的構造の各々と対向し、整合するように設けられる。

【0143】続いて、ユニットを分離することによって結晶基板300のウエハを切断し、所望のチップを得て、得られたデバイスの面を平滑化した。光学的構造および電氣的構造を一体接合することによって形成された光電構造の光学的特性について、次に分析を行った。

【0144】この分析に基づいて、各デバイスについて、所定の制限と比較して改良された値を分析時に示したチップ上にある2対の光電構造の内1つを選択し、予め選択した光電構造を、用意したハウジング内の電気接点205、206およびデバイスの入来および出立光ケーブル201、202と接続可能となるように、デバイスの方向を決定した。

【0145】例2にしたがって形成された変調デバイスの全体を図22に示す。図22では、種々の構成物は、既に用いたのと同じ参照番号で示されている。好ましくは金属で作られたコンテナ250内にデバイスを挿入する。コンテナ250は開口を有し、これを通じて、電気接点205、206および光接続ファイバ201、202が外部に現れる。

【0146】図からわかるように、チップ上にある1対の電氣的構造および光学的構造で形成された光電構造体の一方を用い、電氣的および光学的に接続し、他方の構造体は未使用のままにしておく。選択した構造体に基づいて、チップの方位を選択し、こうして、電気接続および光接続の相対的位置は、予め選択した対には無関係に、不変状態に維持される。

【0147】こうすることにより、選択した光電構造の対には無関係に、意図する機器内に、デバイスを組み込むことが可能となる。

【0148】次に、本出願人は、前述の2つの方法にしたがって、生産された不合格品について評価を行った。ここでは、

n 結晶基板毎のデバイス数

x 不良光学的構造の割合

y 不良電氣的構造の割合

とする。

【0149】光学的構造および電氣的構造間の特定の整合について、m個の光学的な不合格品が発生する確率を、二項分布から計算した。

【0150】

【数1】

$$P_m = \frac{n!}{m!(n-m)!} \cdot x^m \cdot (1-x)^{n-m}$$

更に、ある整合について、少なくとも1つの光学的な不合格品が発生する全確率は、次のように表される。

【0151】

【数2】

$$P_{tot} = \sum_{m=1}^n P_m$$

例1の場合、3つの整合が可能であり、結晶基板上に光学的な不合格品が発生する確率は、 $P_{tot}$ で定義され、したがって、光学的な不合格品の割合は、 $P_{tot}/n$ となる。

【0152】この値に、電極の欠陥率(defectiveness)を加算すると、光学的／電氣的な不合格品の割合は、

【数3】

$$S_{tot} = \frac{P_{tot}}{n} + y - \frac{P_{tot}}{n} \cdot y$$

となる。

【0153】例2の場合、双方の光導波管または双方の電氣的構造、あるいは一方の光学的構造および対向する電氣的構造が不良である場合のみデバイスの不合格品が発生する。これを分析的に表すと、次のようになる。

【0154】

【数4】

$$S_{tot} = x^2 + y^2 + 2xy(1-x)(1-y)$$

数値的な観点からは、 $x = y = 10\%$ および $n = 11$ に対して、第1例で述べた方法による不合格品の割合は12.9%であり、一方第2例で述べた方法の場合は3.6%である。

【0155】更に、例1の技法とは対照的に、例2による処理の結果、最少数の欠陥を有する基板上にある1組の光学的構造の選択のための、光学的構造の顕微鏡下における検査に伴う工程が削除されるので、この方法の信頼性が一層向上し、それを実行するのに必要な時間も短縮する。

【0156】更に、単一ユニット上に2つの光学的構造のみを形成することにより、高い生産出力(production

output)を維持しつつ、幅を制限したチップの形成が可能となり、単一ユニット上に相当数の光学的構造および電気的構造を形成し、その中から欠陥が最も少ない構成を選択するという方法に頼る必要がなくなる。

【0157】例2において述べたユニット上の光学的構造および電極の対称的配置は、電気的および光学的接続の形成に先立つ最終検査の間に選択され得る、デバイスの可能な構成双方に対して、同じ相対的配置を維持するためには好ましく、こうすることにより、電気的構造および光学的構造の予め選択した対には無関係に、意図する機器にデバイスを組み込むことが可能となる。

【0158】この状態がさほど重要ではない場合、例えば、ワイヤ（ワイヤ・ボンディング）による電極の接続を伴う機器において、その長さや配置が厳格に規定されていない場合、対称性の要件を省略してもよい。

【0159】図19は、別のデバイス、即ち、位相変調器における、本発明による電気的構造910、920および光学的構造930、940の配置を示す。このデバイスについても、中間チェックを行うことなく、光学的構造および電気的構造を形成し、各デバイスについて、最終チェックの間に正しい対を選択することによって、不合格品の大幅な減少が達成される。

【0160】更に、図20は、同一チップ内に結合され、本発明によるプロセスによって形成された、振幅変調器および位相変調器の一体化構造を示す。この図に見られる種々の構成物は、以前に用いたのと同じ参照番号を用いて示されている。

【0161】図21は、本発明にしたがって製造された一体化光デバイスを用いることができる機器の一例を示す。

【0162】この図は、波長変換器を示し、特に、入力に供給された波長 $\lambda_1$ を有する変調光信号800を、波長 $\lambda_2$ を有する変調光信号809に変換し、出力から放出するように設計されたものである。

【0163】この機器は、光信号800を受光し、それを変調電気信号に変換する、受光フォトダイオード802を備えており、変換電気信号は電子増幅器803に送られ、ここで増幅され、ここから、本発明にしたがって適切に構成された光電変調器805の無線周波数信号コネクタ806に供給される。

【0164】変調器805は、レーザ源804から受光する、波長 $\lambda_2$ の連続光信号807の必然的な光変調を行い、変調光信号809を放出する。指向性カプラ810を通じて変調器から供給される波長 $\lambda_2$ の変調光学信号809の一部は、制御回路808に送られる。制御回路808は、変調器805にバイアスを与えるためにコネクタ811に接続され、変調器805自体の動作点の安定化を行う。

【0165】結論として、例2によるデバイスの生産は、光導波管の顕微鏡下における検査が不要となるため

に、ウェハの処理時間短縮を可能とすると共に、コスト削減および生産時間短縮によるプロセスの効率向上が可能となり、しかも製造および組立プロセスの間に何の変更も必要としない。

【0166】上述の実施例は、例えば、フィルタまたはレーザのように、互いに相互作用を行う追加の光学的構造および電気的構造を単一基板に備えた、他の光電デバイスの形成のように、本発明の範囲および精神に該当する、変様、変更、および置換が当業者によって行われる可能性がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 Mach-Zehnder光電変調素子の概略図。

【図2】 光電構造、光接続ファイバおよび電気接続部を有する、完成した変調素子を示す斜視図。

【図3】 結晶基板要素における2つの列上の数個の素子の配列例を示す図。

【図4】 結晶基板要素における単一系列上の数個の素子の配列例を示す図。

【図5】 結晶基板要素上に光導波管構造を形成するプロセスの一例の連続工程における、マスクを通じて結晶基板をUV光線に露出させる工程を示す図。

【図6】 結晶基板要素上に光導波管構造を形成するプロセスの一例の連続工程における、チタンの堆積を示す図。

【図7】 結晶基板要素上に光導波管構造を形成するプロセスの一例の連続工程における、過剰なチタンの除去を示す図。

【図8】 結晶基板要素上に光導波管構造を形成するプロセスの一例の連続工程における、チタンの熱拡散による光学的構造の形成を示す図。

【図9】 光学的構造を支持する結晶基板要素上に電気的構造を形成するプロセスの一例の後続工程における、関連するマスクを通じたUV光線への露出を示す図。

【図10】 光学的構造を支持する結晶基板要素上に電気的構造を形成するプロセスの一例の後続工程における、レジスト層の堆積を示す図。

【図11】 光学的構造を支持する結晶基板要素上に電気的構造を形成するプロセスの一例の後続工程における、金の電解成長を示す図。

【図12】 光学的構造を支持する結晶基板要素上に電気的構造を形成するプロセスの一例の後続工程における、レジスト層の除去を示す図。

【図13】 単一素子上の複数の干渉光学的構造の配列を示す図。

【図14】 単一素子上の光学的構造の1つに対応する位置に電気的構造を定義するためのマスクを示す図。

【図15】 予め選択してある素子の光学的構造の1つに前記電気的構造を重ね合わせる構成として可能なものの1つを示す図。

【図16】 単一素子上の1対の干渉光学的構造の配列を

示す図。

【図 17】図 16 による光学的構造上の 1 対の電気的構造の設計のためのマスクを示す図。

【図 18】前記デバイス上の電気的構造および光学的構造の全体的な構成を示す図。

【図 19】位相変調デバイスにおける電気的構造および光学的構造の全体的な構成を示す図。

【図 20】強度および位相変調デバイスにおける電気的構造および光学的構造の全体的な構成を示す図。

【図 21】本発明による光電変調デバイスを使用可能なシステムの概略図。

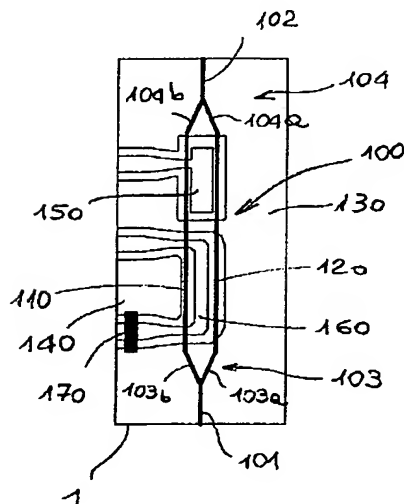
【図 22】光電構造、光接続ファイバ、および電気接続部をそのハウジングの内側に挿入して完成した、本発明による変調デバイスを示す斜視図。

#### 【符号の説明】

##### 1 結晶基板の部分

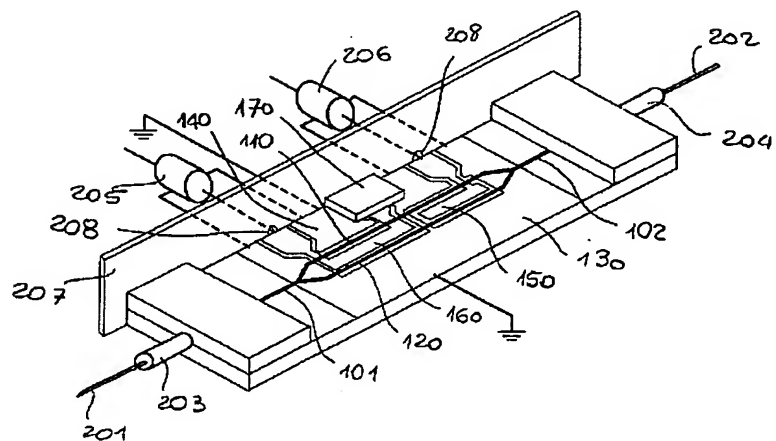
- 100 結晶基板
- 101 第 1 光導波管部
- 102 第 2 光導波管部
- 103 Y 字状接合部
- 103a, 103b 分散ブランチ
- 104 Y 字状接合部
- 104a, 104b 分散ブランチ
- 110, 120 ブランチ
- 130, 140 接地電極
- 150 バイアス電極
- 160 信号電極
- 201, 202 接続ファイバ
- 203, 204 ファイバ支持ブロック
- 205 信号コネクタ
- 206 バイアス・コネクタ

【図 1】

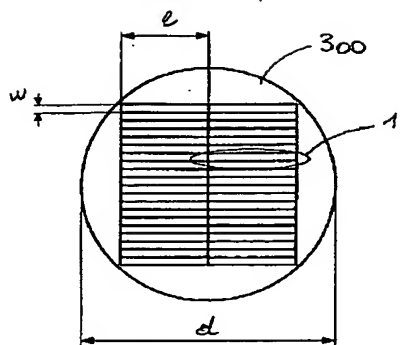


- 207 接地面
- 208 孔
- 300 結晶基板要素 (ウエハ)
- 400 マスク
- 401 UV 光透過性領域
- 402 UV 光非透過性領域
- 410 感光性材料
- 500 マスク
- 501 UV 光透過性領域
- 502 UV 光非透過領域
- 510 チタン薄層
- 520, 530 金層
- 100a, 100b, 100c 光学的構造
- 610a, 610b, 610c 整合基準点
- 630 マスク
- 620 位置決め要素
- 710, 720 光学的構造
- 730 マスク
- 740, 750 電気的構造
- 20 910, 920 電気的構造
- 930, 940 光学的構造
- 800 変調光信号
- 809 変調光信号
- 802 受光フォトダイオード
- 803 電子増幅器
- 805 光電変調器
- 806 無線周波数信号コネクタ
- 807 連続光信号
- 808 制御回路
- 30 811 コネクタ

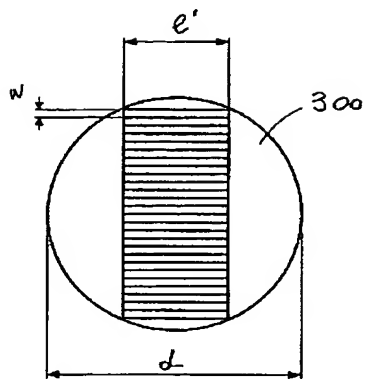
【図 2】



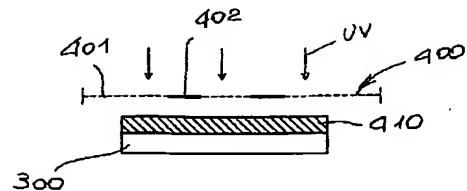
【図 3】



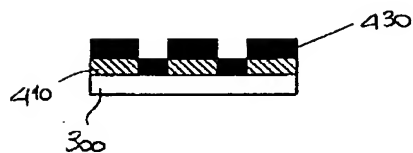
【図 4】



【図 5】



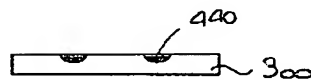
【図 6】



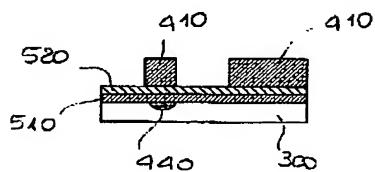
【図 7】



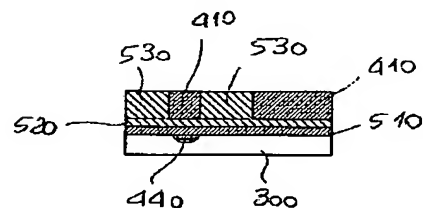
【図 8】



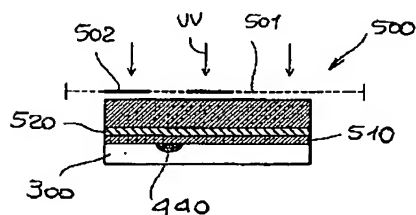
【図 10】



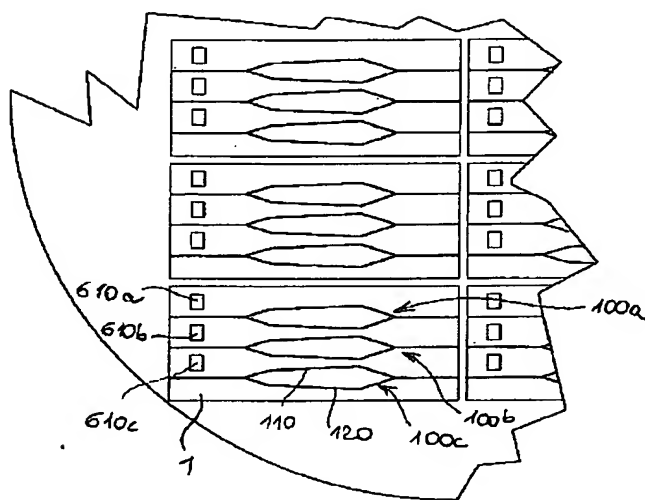
【図 11】



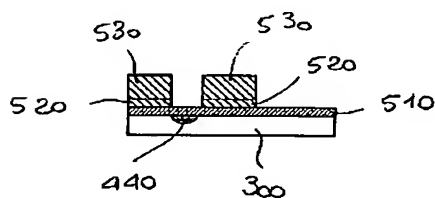
【図 9】



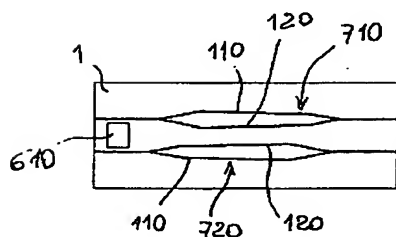
【図 13】



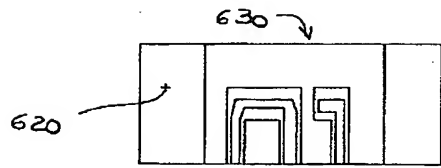
【図 12】



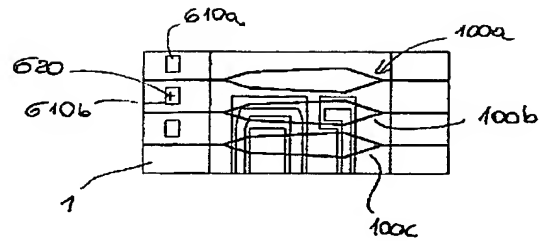
【図 16】



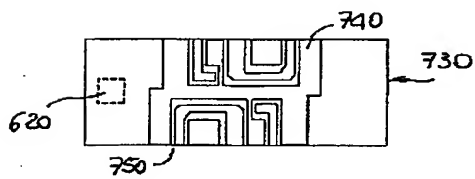
【図 14】



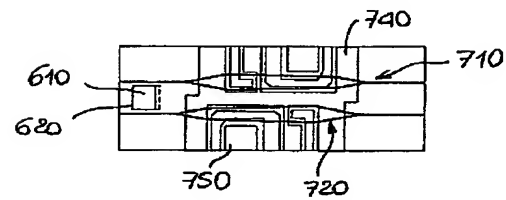
【図 15】



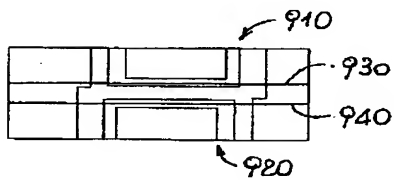
【図 17】



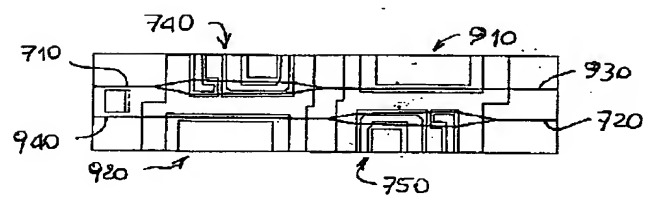
【図 18】



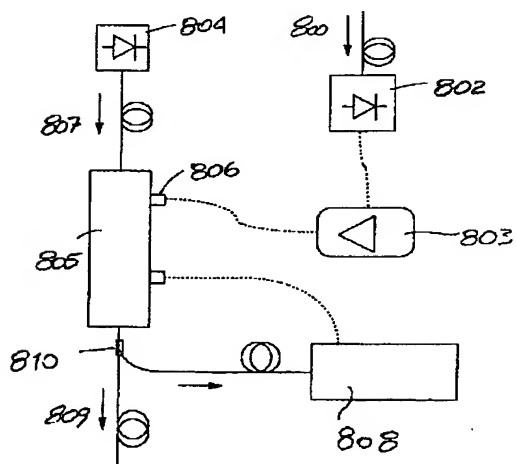
【図 19】



【図 20】

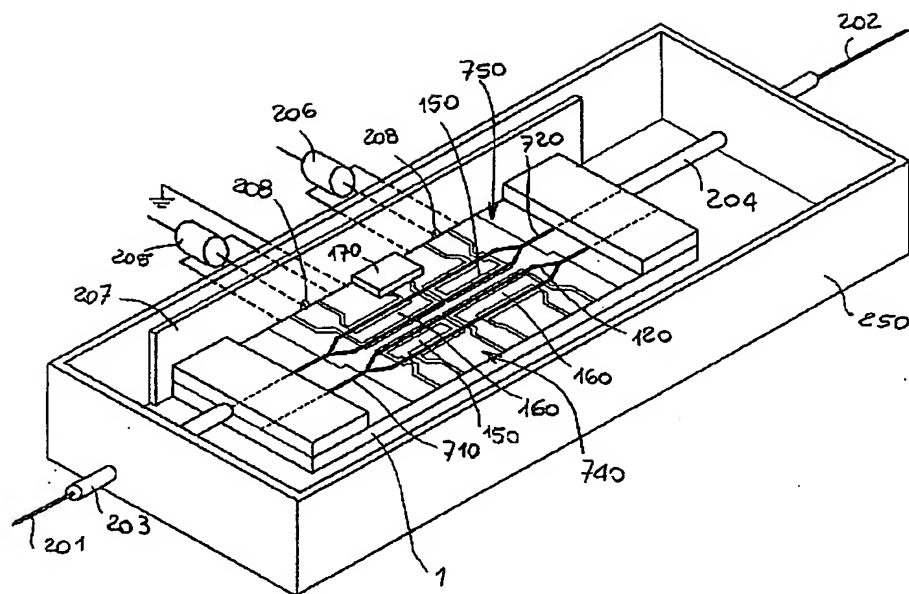


【図 21】





【図 22】



フロントページの続き

(71)出願人 591011856  
Pirelli Cavi e Sist  
emi S. p. A

(72)発明者 セルジオ・ボッソ  
イタリア共和国ミラノ, 20090 アッサゴ,  
ヴィア・ドゥッチョ・ダ・ボニンセーニャ  
11/イ